

DAS EF30FORWARD KONZEPT EIN HINWEISINSTRUMENT ZUR ERMITTLUNG DER ZUVERLÄSSIGKEIT UND FUNKTIONSEFFIZIENZ VON WASSERSCHUTZBAUTEN

Bruno Mazzorana¹

ZUSAMMENFASSUNG

Die Zuverlässigkeit der Bauwerke in alpinen Wildbacheinzugsgebieten ist die große Unbekannte, sei es im Rahmen der Gefahrenzonenplanung, als auch beim Entwurf von Maintenance – Konzepten. Im Falle der Gefahrenzonenplanung ist die Zuverlässigkeit der Bauwerke relevant, sei es was die Ermittlung der mobilisierenden Feststoffvolumina betrifft, als auch was die reelle Rückhaltekapazität oder „Geschiebesortiereffizienz“ betrifft. Unsicherheiten oder Unwissenheiten über den Zustand der einzelnen Bauwerke und speziell der Schlüsselbauwerke, wirken sich dramatisch auf die Wiederherstellungskosten, der im Zuge der Extremereignisse zerstörten Bauwerke, sowie auf das Ausmaß der Schäden außerhalb des Gerinnes aus. Alpenweit sind Bautenkatastererhebungen im Gange oder abgeschlossen, es werden aber vermehrt Informationslücken, was die Ansprache des Zustandes der Bauwerke betrifft, deutlich und die oben angeführten Zusammenhänge sind weder qualitativ noch quantitativ ausreichend erforscht. Diese Arbeit stellt die EF30forward Methode vor, die den Konnex zwischen der Relevanz der zu schützenden Objekte und dem betrachteten Schutzbauwerk, den Zusammenhang zwischen der Ausfallprädisposition und der funktionellen Effizienz des Bauwerkes, sowie die Indikation besonderer Belastungseinwirkungen auf das Bauwerk, erfasst. Dies gestattet eine Priorisierung der Baumassnahmen innerhalb eines verständlichen und nachvollziehbaren Instandhaltungskonzeptes.

Keywords: Zuverlässigkeit, Effizienz, Schlüsselbauwerke, Instandhaltung, Naturgefahren

ABSTRACT

Reliability of protection measures in alpine torrent basins is an important uncertainty source, either in the process of hazard zoning or in the development of maintenance concepts. In the case of hazard zoning, reliability of protection structures directly influences the sediment yield and the sediment retention capacity or solid discharge modulation capacity of the protection system. Excessive uncertainties, especially concerning key structures in the protection system, influence strategically the success of maintenance concepts and affect reparation costs significantly. All over the Alps there are ongoing efforts in evaluating the condition of the single protection structures, but the above mentioned issues are not sufficiently investigated, either from a qualitative or from a quantitative point of view. This work presents the EF30forward method, that investigates, analysing the interdependence

¹ Forest officer, Department of Hydraulic Engineering of the Autonomous Province of Bolzano, Cesare Battisti Str. 23, 39100 Bolzano, Italy (Tel.: +39-471-414567; Fax: +39-471-414599; email: bruno.mazzorana@provinz.bz.it); PHD Student at the University of Life Sciences of Vienna

between the relevancy of the objects to be protected and the considered protection structure, the relationship between the failure predisposition and the functional efficiency and detects effects of excessive loading situations for the considered protection measure. On this basis a prioritization is made possible and the maintenance concept becomes comprehensible and traceable.

Keywords: reliability, efficiency, key protection structures, maintenance, natural hazards

EINLEITUNG

Die Autonome Provinz Bozen - Südtirol ist eine Alpenprovinz in der die Errichtung aktiver Schutzmassnahmen im Wildbachverbauungssektor während des letzten Jahrhunderts entschieden vorangetrieben wurde. Dies trug wesentlich zur ökonomischen Entwicklung des Landes bei. Der Siedlungsdruck stieg, der Bau von Infrastrukturen ebenfalls. Die Intensivierung der Landwirtschaft folgte diesem Trend. Die Anforderungen an eine effiziente Schutzwirkung vor Naturgefahren sind hoch, bei gleichzeitiger Verschärfung der Budgetrestriktionen.

Dies impliziert, dass dem Entscheidungsprozess über dem Modus der Sicherstellung des Schutzgrades höchste Priorität beigemessen wird. Das EF30forward – Konzept versucht, ausgehend von einer qualitativen Analyse der Zusammenhänge zwischen Schutzgrad, Bauwerkszustand, Funktionseffizienz und Instandhaltungsaufwand, auf der Basis der vorliegenden, oder mit absehbaren finanziellen Aufwand bzw. Personalressourcen bereitzustellenden, Datengrundlagen, dem Entscheidungsträger ein Werkzeug zur Verfügung zu stellen, um nachvollziehbar und objektiv Schwachstellen im Schutzsystem zu identifizieren und in einem zweiten Schritt deren Behebung in der Maßnahmenplanung voranzutreiben.

QUALITATIVE ANALYSE

Alpenweit sind Bautenkatastererhebungen im Gange oder abgeschlossen, es werden aber vermehrt Informationslücken, was die Ansprache des Zustandes der Bauwerke betrifft, deutlich und die oben angeführten Zusammenhänge sind weder qualitativ noch quantitativ ausreichend erforscht. Das verwendete Erklärungsparadigma ist jenes der Katastrophentheorie, welches qualitativ Diskontinuitäten in den Auswirkungen, die von kontinuierlichen Variationen der Einflussparameter hervorgerufen werden, zu interpretieren vermag. Mögliche Zustandsvariablen in unseren Modellen sind die Zuverlässigkeit des Bauwerksystems, das Schadensniveau am Schutzsystem, das Kostenniveau von Wiederinstandsetzung und Neubau sowie der Effizienzgrad des Verbauungssystems hinsichtlich einer nachhaltigen Gefahrenreduktion (Romang et al., 2000). Die möglichen Einflussparameter oder Kontrollfaktoren sind das Niveau der Ereignisintensität (die Belastung des Systems), sowie die Häufigkeit der präventiven Instandhaltungsmaßnahmen (oder der Verzug in der Verwirklichung dieser Maßnahmen). Das Kuspenskatastrophenmodell lässt sich durch eine Gleichung vom Typ

$$F(x,u,v) = x^4 + ux^2 + vx \quad [1]$$

darstellen, wobei x die Zustandsvariable ist, die sich in Abhängigkeit von den beiden Parametern u und v ändert, wobei „ v “ hierbei der Normalfaktor ist, d.h. die Zustandsvariable x ist von diesem Faktor kontinuierlich (monoton steigend oder fallend) abhängig. Mit einer gewissen Approximation ist die Systembelastung in unserem einfachen Modell der

Normalfaktor. „u“ ist der so genannte spaltende Faktor (z.B. Verzug in den Instandhaltungsmaßnahmen)

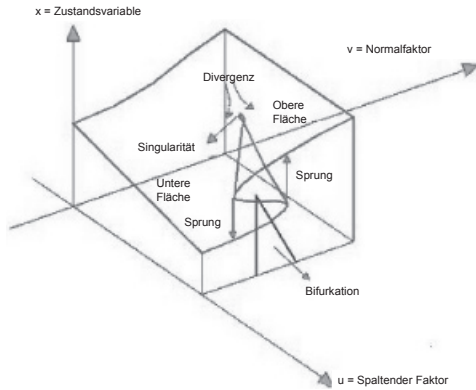


Abb. 1: Schema der Kuspenskatastrophe
Fig.1: The cusp catastrophe

Untersuchung des Zusammenhanges:

x = Zuverlässigkeit des Systems; a = Belastungsintensität; u = Verzug der Instandhaltungsarbeiten → siehe Abb.2.

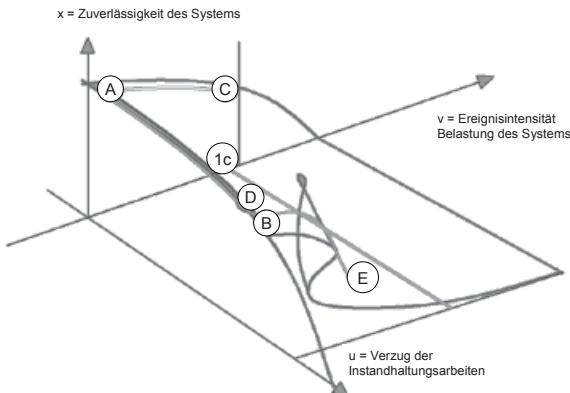


Abb. 2: Untersuchung des Zusammenhanges:
 x = Zuverlässigkeit des Systems; a = Belastungsintensität; u = Verzug der Instandhaltungsarbeiten
Fig.2: Analysis of the relation

x = reliability of the protection system; a = intensity of system loading; u = delay in system maintenance

- a) Lassen sich keine Extremereignisse (während der Nutzungsdauer des Bauwerkes) verzeichnen, so fällt die Zuverlässigkeit des Systems kontinuierlich aber relativ langsam (siehe Pfad 1 von A nach B).

- b) Tritt ein Extremereignis gerade nach vollendetem Neubau ein, so sinkt die Zuverlässigkeit des Systems nach dem Ereignis in Relation zur Ereignisintensität, (siehe Pfad 2 von A nach C). Das Extremereignis hat Intensität I_c .
- c) Wartet man sehr lange mit den Instandhaltungsarbeiten (siehe Pfad von A nach D) und tritt erst dann ein Extremereignis mit Intensität I_c auf, so gelangt man von Punkt D nach Punkt E. In diesem Fall müssen wir mit einem hohen Zuverlässigkeitsverlust rechnen.

EFFIZIENZ EINES VERBAUUNGSSYSTEMS

Ein Verbauungssystem ist als effizient zu betrachten, nicht nur wenn es zuverlässig ist, sondern auch, wenn es in der Lage ist, die Gefahr für den Schadenswirkungsbereich dauerhaft zu minimieren. Die dauerhafte Minimierung impliziert eine Funktionsweise, die zur Reduzierung des verbleibenden Gefahrenpotentials beiträgt. In dieser Arbeitsdefinition verbergen sich folgende Ansprüche an ein Verbauungssystem:

- a) dauerhafter Schutz → Zuverlässigkeit der Bauwerke (vor allem der Schlüsselbauwerke) → geringe Unsicherheiten in der Zuverlässigkeitsbestimmung
- b) Effiziente Funktionsweise hinsichtlich der Abflussdynamik und des Feststofftransportes
- c) Kostengünstigkeit
- d) Maintainability

Punkt b bedarf einiger präzisierender Erläuterungen: Die Hochwasserwellen sollen gekappt werden. Der Feststofftransport soll nicht unterbunden werden, sondern soll für HQ Ereignisse niedriger Jährlichkeiten (geringere Gefährdungen) der theoretischen Transportkapazität entsprechen. Hiermit erreicht man, aufgrund der Häufigkeit dieser Ereignisse, eine Abnahme des verbleibenden Feststoffpotentials im Einzugsgebiet. Ein weiteres zu berücksichtigendes Ziel ist die zeitliche Separation der Reinwasserabflussspitzen und der Feststofftransportmaxima während der Extremereignisse mit entsprechenden „Geschiebesortieranlagen“ (Armanini, 2001; Üblagger 1972; Zollinger 1984). Auch der Schwemmholztransport soll an geeigneten Stellen unterbunden werden, um schädliche Interferenzen im Bereich hydraulischer Schlüsselstellen (bzw. Schwachstellen) zu vermeiden. Angesichts dieser Forderungen scheinen die klassischen Intensivkonsolidierungen der Bachläufe einerseits, und Einzelbauwerke mit reiner Geschieberückhaltefunktion andererseits, nicht ausreichend effizient zu funktionieren. Die Folgekosten für die häufigen Räumungen hinter den Geschieberückhaltesperren und für die Schadensbehebung an den Konsolidierungsbauwerken sind nicht zu unterschätzen, auch für Ereignisintensitäten die weit unter jenen der jeweiligen „Bemessungsereignisse“ liegen. Eine Konsequenz der nicht niederen Ausfallraten vor allem bei Konsolidierungssperren älterer Generation ist die Mobilisierung zusätzlicher Feststoffvolumina mit denen nicht gerechnet wurde, da die volle Funktionsfähigkeit des Verbauungssystems vorausgesetzt wurde. Angesichts dieser Faktoren, wird es in nicht wenigen Fällen nötig sein, an eine Überführung eines ineffizienten Verbauungssystems in ein effizienteres zu denken. Es geht also nicht darum alle Bauwerke, welche eine geringe Zuverlässigkeit aufweisen, systematisch instand zu halten oder durch neue „funktionsgleiche“ Bauwerke zu ersetzen, sondern, ausgehend von einer Funktionsdefizitanalyse des gesamten Verbauungssystems, jene Maßnahmen zu tätigen die den angestrebten (multidimensionalen) Effizienzzuwachs ermöglichen. Diese Überführungsstrategien sind von Fall zu Fall unterschiedlich und hängen zum Teil von einer Vielzahl von beschränkenden Faktoren (Raumnutzung) ab. Es erscheint jedoch angemessen, an der Behebung der beschränkenden Faktoren zu arbeiten.

Die Funktionsdefizitanalyse (und als Folge die Defizitbehebungsanalyse) sollte in die Prozedur für den Grundsatzentscheid fix eingebaut werden, und dem konkreten Vorschlag von zu tätigen Verbauungsmaßnahmen vorausgehen.

DAS EF30FORWARD - KONZEPT

Die Betrachtung folgender Aspekte ist relevant:

1. das flächendeckende Gefahrenhinweisprinzip
2. die strukturelle, funktionelle Effizienz der Einzelschutzbauwerke und der Verbauungssysteme
3. der Hinweis auf die erwartete Schadenswirkung

Diesen Aspekten wird im EF30forward – Konzept voll Rechnung getragen indem folgende Indikatoren entwickelt wurden:

1. ERI: Externer Relevanz Indikator: Stellt den Konnex her, zwischen der Relevanz der zu schützenden Objekte im Einzugsgebiet und dem betrachteten Schutzbauwerk.
2. ZFI: Zustand – Funktion Indikator: Gibt Aufschluss über den Zustand (Ausfallprädisposition) und der funktionellen Effizienz des Bauwerkes hinsichtlich der Gefahrenreduktion.
3. BWI: Belastung – Wirkung Indikator: Identifiziert besondere Belastungssituationen im Einzugsgebiet, die zum „selektiven“ Ausfall der Schutzbauwerke führen können und gibt Auskunft über den unmittelbaren Schadenswirkungsbereich. Dies können z.B. eine Effizienzreduzierung des restlichen Verbauungssystems und/oder eine Zunahme der Gefahrenmomente für Objekte außerhalb des Gerinnes sein.

Diese drei Indikatoren werden zum Baumaßnahmenprioritätsindikator BPI zusammengefasst, der somit eine Priorisierung des Handlungsbedarfes ermöglicht. Folgende Abbildung zeigt den grundsätzlichen Aufbau des Systems.

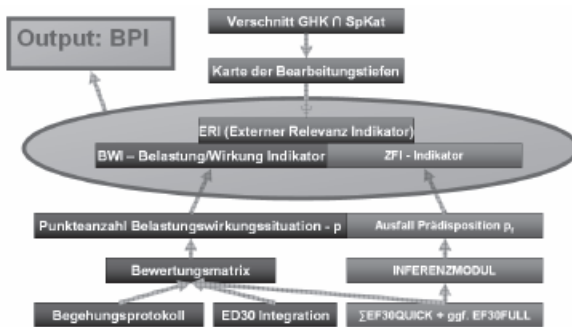


Abb. 3: Flussdiagramm und grundsätzlicher Aufbau des Systems
Fig. 3: Flowchart and general System structure

Diese drei Indikatoren ermöglichen weiters eine nachvollziehbare Identifikation der Schlüsselbauwerke. Es sind dies Bauwerke, die wesentlich zur Systemzuverlässigkeit beitragen (Faber, 2003). Im Falle eines Ausfalls, während eines Extremereignisses, sind die Schadenspotentialobjekte, entweder direkt der Gefahr ausgesetzt, oder es ändert sich die Intensität des Ereignisses (z.B. Freiwerden größerer Geschiebemengen), oder es steigt die Ausfalls - Prädisposition weiterer Schutzkomponenten.

INSTRUMENTE UND DATENGRUNDLAGEN

Die Abteilung Wasserschutzbauten verfügt, was die Kenntnis der Naturgefahrenphänomene betrifft, über wichtige Datengrundlagen die während der letzten EU-Projekte (IHR-Plattform, DISALP, Flussraumagenda), der „fortlaufenden und historischen Ereignisdokumentation“ (Projekt ED30), der Bestandserfassung der eigenen Bauwerke – Bautenkataster (BAUKAT30), erhoben worden sind. Diese Datengrundlagen besitzen die Homogenitätsvoraussetzungen, um gezielt für weitere Vorhaben verwendet zu werden. (z.B. GZP – Gefahrenzonenplanung). Einige dieser Datengrundlagen haben den Vorzug des flächendeckenden Vorhandenseins und decken in ihrem Informationsgehalt die Gefahrenhinweisebene (GHK) ab, andere sind fast flächendeckend erhoben und liefern Rohinformation über den Zustand der Wasserschutzbauten (BAUKAT30), andere wiederum, verdichtet durch die Recherche historischer Ereignisse, decken bereits einen wichtigen Teil der rückwärts gerichteten Indikation ab (ED30 und ED30 History). Eine letzte Gruppe von Datengrundlagen, sprich eine Detailerhebung über den Bauwerkzustand (EF30 für Querwerke, EF30 für Längswerke), steht lokal zur Verfügung. Folgende Abbildung verschafft zu diesem Thema einen Überblick:

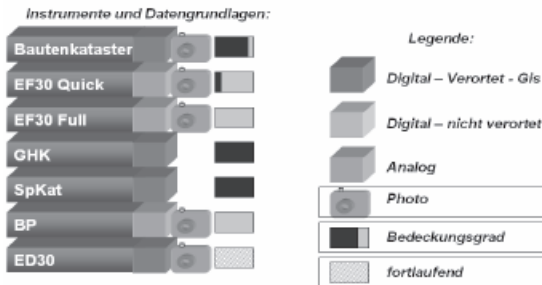


Abb. 4: Datengrundlagen

Fig. 4: available data

ENTWICKLUNG DER INDIKATOREN – VERNETZUNG DER INFORMATION

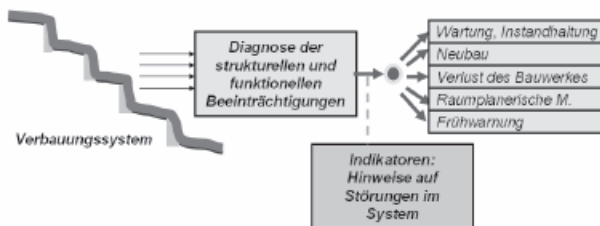


Abb. 5: Rolle der Indikatoren

Fig. 5: role of the indicators

Es folgt die Beschreibung der einzelnen Indikatoren, die konzipiert wurden:

1. Zustand – Funktion Indikator ZFI: Dieser Indikator verbindet, wie der Name verdeutlicht, Informationen über den Zustand des Bauwerkes und dessen ausgeübte Funktion (z.B. Konsolidierung, Geschieberückhalt, Geschiebesortierung). Die Datengrundlagen, welche diese Informationen bereitstellen sind: a)BAUKAT30, b)EF30Quick, c)EF30Full. Der Zustand des Bauwerkes wird, aufgrund der Eingangsdaten, aus den genannten Formularen durch ein Inferenzmodul (neuronaales Netz) interpretiert. Dieses Modul liefert die Ausfall - Prädisposition des Bauwerkes. Das Prinzip, das hinter diesem Indikator steht, ist jenes der „hypothetischen relativen Bereitschaft“ ein Bauwerk zu opfern, z.B.: Sind eine Konsolidierungssperre und eine Geschiebesortiersperre in einem ähnlich schlechten Zustand, so ist aufgrund der Funktion einer Geschiebesortiersperre (Herabsetzung der Spitzenintensitäten der Extremereignisse) die Aufrechterhaltung der Funktionalität dieser Sperre gegenüber jener der Konsolidierungssperre vorzuziehen, dies um so mehr, falls Budgetrestriktionen den Handlungsspielraum einschränken.
2. Externer Relevanz Indikator ERI: Dieser Indikator soll die Relevanz – Wichtigkeit des betrachteten Bauwerks für die Objekte im Schadenswirkungsbereich aufzeigen. Zur Bestimmung dieses Indikators sind die flächendeckenden Datengrundlagen von zentraler Bedeutung, d.h. die Gefahrenhinweiskarte GHK, die Karte der Schadenspotentialkategorien SpKat und somit letztendlich die Karte der Bearbeitungstiefe. Natürlich sind nur jene Teile des Einzugsgebietes relevant, zu deren Schutz dieses Bauwerk beiträgt.
3. Belastung – Wirkung Indikator BWI: Dieser Indikator spiegelt einerseits die variable Disposition im untersuchten Sperrbereich wider und gibt andererseits Aufschluss über die möglichen Wirkungsmechanismen im Nahbereich des betrachteten Bauwerkes. Typische variable Belastungssituationen sind z.B. akkumuliertes Schadh Holz im Bachbett und somit das Vorhandensein eines partiellierten Durchfußprofils oder gar einer Verklausung. Brechen nun diese temporären Barrieren, steigt die Belastung auf die Schutzbauwerke lokal stark an.
4. Synopsis zu den Indikatoren: ZFI, ERI, BWI: Diese Indikatoren sollen, auf nachvollziehbare Art und Weise, ausgehend von der Exploration des Zustandsraumes und des Spektrums der Funktionalität der Bauwerke, unter Rücksichtnahme der Gefahrenhinweise einerseits und der Relevanz der Schadenswirkung andererseits, eine begründete Bewertung des Bauwerkes ermöglichen.
5. Bündelung der Information- der Indikator BPI: In dieser Arbeit wird ein Indikator vorgeschlagen, der BPI (Baumaßnahmenprioritätsindikator), der auf der Basis der vorgestellten Indikatoren einen Dringlichkeitssensor für die künftige Maßnahmenplanung darstellen soll. Der Entscheidungsträger/Planer hat somit die Möglichkeit, im Kontext eines integralen Risikomanagements, die Entscheidungsfindung zu erleichtern.
 Man erhält den Gesamtindikator BPI, indem man den Wert des ZFI Indikators auf die x – Achse, den Wert des ERI Indikators auf die y – Achse und den Wert des BWI Indikators auf die z – Achse aufträgt. Im Raum wird somit eindeutig ein Punkt identifiziert (siehe folgende Abbildung). Die Distanz vom Koordinatensprung ist ein Maß für den Gesamtindikator BPI. Somit sind Bauwerke mit ungünstigeren Werten der drei Indikatoren im Raum am weitesten vom Koordinatensprung entfernt. Dieser Indikator ermöglicht zumindest auf anschauliche Art und Weise:

- eine Aussage über die Effizienz des gesamten Verbauungssystems im Einzugsgebiet. Dies wäre nämlich durch die Disposition der Punkte im Raum zu erklären;
- einen Vergleich zwischen den Verbauungssystemen verschiedener Einzugsgebiete;
- eine strategische Suche nach möglichen Verbauungsmaßnahmen;
- grundsätzlich das Monitoring der Bauwerkszustandssituation (Verschiebung der Punkte im Raum)

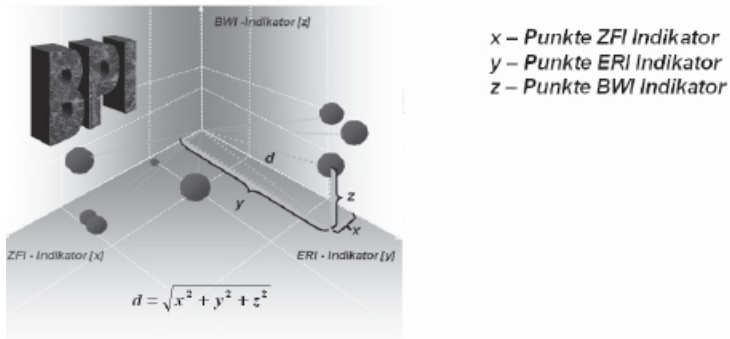


Abb. 6: Räumliche Darstellung des BPI - Indikators
Fig. 6: 3-dimensional representation of the BPI - indicator

ABSCHLIEßENDE BETRACHTUNGEN:

Die Parameter, welche das Modell verwendet, müssen klarerweise justiert werden. Es ist vorgesehen, eine gewisse Anzahl von sog. Modellsperren als „Lernreferenz“ des System von einem Expertenteam bewerten zu lassen.

In der vorliegenden Arbeit wurde somit ein „lernfähiges“ Instrument entworfen (Adamy, 2005), welches Signale aus den komplexen Sachverhalten der Natur verarbeiten kann und dem Entscheidungsträger zugänglich macht. Durch den Einsatz dieses Instrumentes dürfte der erzielte Schutzgrad, unter den gegebenen Voraussetzungen, der maximal Mögliche sein, da die Instandhaltungsstrategie an Qualität gewinnt. Die Verwendung dieses Instrumentes gliedert sich passend in die neue Grundsatzentscheidprozedur für die prioritätsbasierte, mehrjährige Programmierung der Baumassnahmen ein, die derzeit in der Abteilung Wasserschutzbauten eingeführt wird. Folgende Abbildung zeigt den strukturierten Phasenablauf.

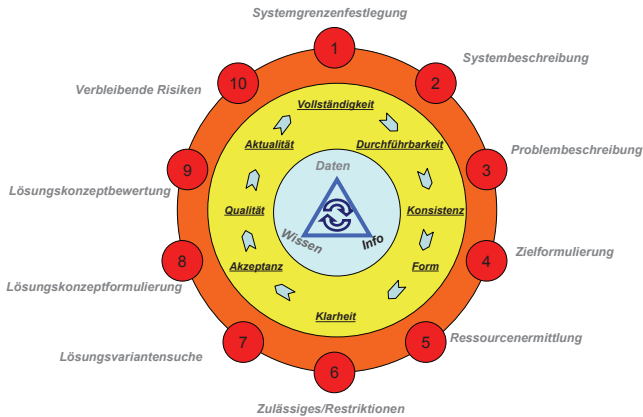


Abb. 7: Ablaufphasen der Systemanalyse für den Entscheidungsfindungsprozess
Fig. 7: Sequence of operation chart of system analysis for the decision making process

Der Wissenserwerb der mit der Zustandserhebung, Ansprache der Funktionstauglichkeit und Einschätzung der Risikoreduktionswirksamkeit einhergeht, wird sowohl für den System- und Problembeschreibungsteil, als auch Ziel- und Lösungsformulierungsphasen, genutzt. Die EF30forward Methode erleichtert den Erfahrungsaustausch zum Thema, ist der Scharfstellung der Zielsetzungen dienlich und fördert nachhaltige Betrachtungsweisen bei der Konzeption, Planung, Umsetzung und Instandhaltung der Schutzbauwerke, vor allem der Schlüsselbauwerke.

Abschließend sei dem Projektteam EF30forward sowie dem Abteilungsleiter Dr. Pollinger Rudolf für die Unterstützung gedankt.

LITERATUR:

Adamy, J. (2005). Fuzzy Logik, Neuronale Netze und Evolutionäre Algorithmen. Aachen: SHAKER.

Armanini, A., and Benedetti, G. (1996). “Sulla larghezza di apertura delle briglie a fessura.” Proc., XXV Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Vol. III, 13–24.

Armanini, A. and Larcher, M. “Rational Criterion for Designing Opening of Slit-Check Dam.” ASCE Journal of Hydraulic Engineering (February 2001) Vol. 127, Nr.2.

Basile, P. A., and Di Silvio, G. (1994). “Interception and release of sediments by permeable check dams.” Int. Workshop on Floods and Inundation related to Large Earth Movements, University of Trento, Italy, 17.

Benedetti, G. (1995). “Analisi teorica e sperimentale del funzionamento delle briglie aperte.” Tesi di Laurea in Ingegneria Forestale, Università degli Studi di Trento, Italy (in Italian).

Faber, M.H. (2003). “Risiko und Sicherheit im Bauwesen”, Vorlesung Wintersemester 2003/2004, Institut für Baustatik und Konstruktion, ETH Zürich

- Romang, H., Kienholz, H. & Böll, A. 2000. Wirksamkeit und Kosten von Wildbachschutzmaßnahmen. Internationales Symposium Interpraevent 2000. Villach/Austria, Volume 3: 271-282. (in German)
- Üblagger G. (1972): “Retendieren, Dosieren und Sortieren.“ („Retaining, dosing and sizing“), Mitteilungen der forstl. Bundesversuchsanstalt Wien, Vol. 102; 335 - 372.
- Zollinger, F. (1984). “Die verschiedenen Funktionen von Geschiebertückhaltebauwerken.” Interpraevent, 1, 147–160.